

CAPÍTULO XVII PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.



TEMA 64.

INTRODUCCIÓN. CONCEPTO. CONDICIONES DE LA SALA.

*Joan Costa Mateu, María José Ruiz Montilla, Dolors Bergua Canelles.
Unidad de Hemodinámica. Hospital Universitari Arnau de Vilanova. Lleida.*

64.1. Introducción a la radiación.

Todo comenzó a finales del siglo XIX cuando el físico Wilhelm Conrad Roentgen¹, profesor de física, se empieza a interesar por los rayos catódicos. Roentgen era un apasionado por la fotografía, lo cual jugó un papel determinante y decisivo en el descubrimiento de los Rayos X y de ello el inicio del diagnóstico por imagen. Todo sucedió por casualidad, cuando un día su ayudante le llevó unas placas fotográficas, en aquella época éstas eran de cristal de platino-cianuro de bario. Dicho ayudante dominaba la técnica fotográfica pero al llegar, se dio cuenta del error, ya que había velado un lote de placas. Roentgen se preguntó como podía pasar aquello. Las placas se encontraban en un cajón envueltas en papel negro y pensó que la Fuente que había podido velar las placas era un tubo catódico que había encima del cajón, el cual dejó la sombra de un anillo metálico proyectado en las placas. Durante seis semanas estudió y descubrió que un rayo había velado las placas.

Lo denominó Rayos X, letra que en matemáticas define a la incógnita. Asombrado ante su descubrimiento, empieza a pensar en lo importante de su descubrimiento y sus múltiples posibles aplicaciones en el mundo industrial y médico.

Después radiografió la mano de su esposa e hizo público su descubrimiento el 28 de Diciembre de 1895, el mismo día en que los hermanos Lumiere presentaban en París la primera proyección pública del cinematógrafo. Ambos descubrimientos revolucionarían la historia contemporánea. En 1901 se concede el Premio Nobel a Wilhelm Conrad Roentgen.

Años más tarde el físico alemán Max von Laue² desarrolló un método para medir la longitud de onda de los rayos X, utilizando, por primera vez, cristales salinos delgados como retícula de difracción, llegando a demostrar que éstos rayos eran de naturaleza análoga a los de la luz, pero no visibles, dado que su longitud de onda es extremadamente corta. Así mismo, trabajó sobre los diagramas (imágenes simétricas) producidas en las placas fotográficas por los rayos X que han sufrido la reflexión o la refracción en un material cristalino. También investigó en el campo de la teoría de la relatividad. En 1914 fue galardonado con el premio Nobel de Física *por sus descubrimientos de la difracción de los rayos X a través de cristales*. Gracias a esto, hizo posible un mejor estudio de la estructura de los cristales (método llamado cristalografía de rayos X).

El descubrimiento de los Rayos X, ha tenido repercusiones en muchas áreas del conocimiento:

- En física de Materia Condensada, la difracción de rayos X por un cristal nos da información de la localización de átomos en ese cristal.
- En Biofísica Molecular, los estudios de difracción de rayos X han ayudado a elucidar la estructura del ADN (Ácido Desoxirribo-nucleico) y de un gran número de proteínas. El automatizar y digitalizar este proceso ha permitido crear un enorme banco de datos tal, que ahora el crecimiento de mapas de rayos X de estructuras biológicas aumenta a una tasa de centenares de mapas por año, beneficiando directamente el diseño de nuevas medicinas.
- En Medicina, los rayos X son fundamentales en diagnosis y terapia. La tecnología de tomografías de rayos X computarizada, en constante avance, permite obtener imágenes cada vez más claras de tumores.

- La astronomía también ha sido fuertemente influenciada por el descubrimiento de Roentgen, a pesar de que los rayos X provenientes de objetos celestes no pueden penetrar la atmósfera de la Tierra.

Dicho descubrimiento se aplicó pues, en múltiples campos de la humanidad como la investigación, la industria y la radiología.

Centrándonos en la radiología, parte central en nuestro trabajo diario, es una especialidad médica que utiliza la radiación para el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades. La radiología, tanto diagnóstica como terapéutica, emplea radiaciones ionizantes (rayos alfa, beta, gamma y rayos X).

64.2. Concepto de radiación.

El concepto fenómeno de la radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material. La radiación propagada en forma de ondas electromagnéticas (rayos UV, rayos gamma, rayos X, etc.) se llama radiación electromagnética, mientras que la radiación corpuscular es la radiación transmitida en forma de partículas subatómicas (partículas alfa, neutrones, etc.) que se mueven a gran velocidad en un medio o en vacío, con transporte de energía. Si la radiación transporta energía suficiente como para provocar ionización en el medio que atraviesa, se dice que es una radiación ionizante. En caso contrario se habla de radiación no ionizante. Son radiaciones ionizantes los rayos X, rayos γ , partículas α y parte del espectro de la radiación UV entre otros. Por otro lado, radiaciones como los rayos UV y las ondas de radio, TV o de telefonía móvil, son algunos ejemplos de radiaciones no ionizantes.

El objetivo fundamental de la investigación de los científicos era el átomo, y más en particular, su estructura. Hoy sabemos que los átomos se comportan como sistemas solares en miniatura; pequeños núcleos son rodeados por las órbitas de “planetas” llamados **electrones**. El núcleo constituye tan solo la milésima parte del tamaño del átomo, pero es tan denso que contiene casi toda su masa. Es generalmente un conglomerado de partículas que se adhieren estrechamente unas a otras. Algunas de estas partículas tienen una carga eléctrica positiva y se llaman **protones**, dentro del núcleo también existen otras partículas sin carga eléctrica que se denominan **neutrones**.

El número de protones determina el elemento al que el átomo pertenece. Un elemento se define por el número de protones en su núcleo. El hidrógeno tiene 1 protón, el helio 2, el litio 3, el berilio 4, el boro 5, y el carbono 6. A medida que aumenta el número de protones, los núcleos se hacen más pesados. El torio tiene 90 protones, el protactinio 91 y el uranio 92. Los elementos pesados con más de 92 protones, se denominan transuránidos. El número de neutrones determina si el núcleo es radiactivo. Para que el núcleo sea estable, el número de neutrones debe ser, en la mayoría de los casos, ligeramente superior al de protones. En un núcleo estable, los protones y neutrones están unidos por fuerzas nucleares tan fuertes que no puede escapar ninguna partícula. Si es así, todo irá bien y el núcleo seguirá estando equilibrado y tranquilo. Pero las cosas son muy distintas cuando el número de neutrones no está compensado. Entonces, el núcleo tiene exceso de energía y no puede mantenerse unido. Tarde o temprano descarga esa energía. Cada núcleo libera su energía de forma diferente, como ondas electromagnéticas (rayos X, rayos gamma) o como chorros de partículas que pueden ser de tres tipos alfa, beta y neutrones.

Radiación alfa está formada por partículas pesadas integradas por dos protones y dos neutrones (como el núcleo del helio) emitidas por la desintegración de átomos de elementos pesados (uranio, radio, radón, plutonio...). Debido a su masa no puede recorrer más que un par de centímetros en el aire, y no puede atravesar una hoja de papel, ni la epidermis.

Por el contrario, si se introduce en el cuerpo una sustancia emisora de radiación alfa, por ejemplo en los pulmones, ésta libera toda su energía hacia las células circundantes, proporcionando una dosis interna al tejido sensible³.

Radiación beta está compuesta por partículas de masa similar a las de los electrones, lo que le confiere un mayor poder de penetración. No obstante, la radiación

beta se detiene en algunos metros de aire o unos centímetros de agua, y es detenida por una lámina de aluminio, el cristal de una ventana, una prenda de ropa o el tejido subcutáneo. No obstante, puede dañar la piel desnuda y si entraran en el cuerpo partículas emisoras de beta, irradiarían los tejidos internos.

Radiación gamma es de carácter electromagnético, muy energética, y con un poder de penetración considerable. En el aire llega muy lejos, y para detenerla se hace preciso utilizar barreras de materiales densos, como el plomo o el hormigón. Desde el momento en el que la radiación gamma entra en una sustancia, su intensidad empieza a disminuir debido a que en su camino va chocando con distintos átomos. En el caso de los seres vivos, de esa interacción con las células pueden derivarse daños en la piel o en los tejidos internos.

La **radiación X** es parecida a la gamma, pero se produce artificialmente en un tubo de vacío a partir de un material que no tiene radiactividad propia, por lo que su activación y desactivación, tiene un control fácil e inmediato.

La **radiación de neutrones** es la generada durante la reacción nuclear. Los neutrones tienen mayor capacidad de penetración que los rayos gamma, y sólo puede detenerlos una gruesa barrera de hormigón, agua o parafina. Por ello, en las aplicaciones civiles, la generación de la radiación de neutrones se limita al interior de los reactores nucleares.

Estos tres últimos tipos de radiación: gamma, rayos X y neutrónica, no son directamente ionizantes, pero al incidir sobre otros núcleos pueden activarlos o causar las emisiones que, indirectamente, sí producen ionización.

Una vez descritos los diversos tipos de radiaciones, nos centraremos en las radiaciones ionizantes, puesto que son aquellas con las que convivimos día a día en cualquier sala de cardiología intervencionista.

64.3. Radiactividad: radiaciones ionizantes.

Teniendo en cuenta que los Rayos X, son a los que estamos expuestos diariamente, es importante saber que éstos pueden impactar directamente sobre el núcleo celular induciendo mutaciones sobre el ADN a través de un mecanismo de ionización y excitación del mismo por efecto directo e indirecto sobre el núcleo a través de la liberación de radicales libres. A partir de aquí existen tres posibilidades:

- que esa mutación se repare sin secuelas,
- que la célula se muera (efecto determinista que puede dar lugar a radiolesión),
- o que la célula sobreviva mutada por una reparación defectuosa (efecto estocástico, potencialmente cancerígeno).

64.4. Efectos biológicos de la radiación.

Antes de exponer el tema de la radioprotección, es importante saber qué efectos puede tener la radiación sobre los organismos vivos, en este caso las personas; ya sean pacientes o personal que está expuesto a radiaciones.

Los efectos biológicos de la radiación se determinan en función de la dosis de radiación recibida por el individuo. La unidad que mide la cantidad de exposición a la radiación es el roentgen (R), que expresa la cantidad de ionización (en columbios) de una masa de aire debida a los rayos x (por tanto $1R = 1C/Kg$). Para conocer la cantidad de energía absorbida por una unidad de masa de un material en concreto se ha usado el *rad* (*radiation absorbed dose*) y las unidades *Gray* (Gy), de tal manera que $1 Gy = 100 rad$. Sin embargo, la cantidad de energía absorbida con la misma exposición (con los mismos R) varía según el tipo de material que le absorba, ya que depende del número atómico y según el tipo de radiación. Para expresar esto se usan las unidades *rem*. Básicamente, una unidad *rem* es un rad multiplicado por un factor de corrección según el material y el tipo de radiación. En cardiología intervencionista, este factor de corrección es igual a 1, por tanto $1 rem = 1 rad$. También se usan los *sieverts* (Sv) para expresar este último concepto, de manera que $100 rem = 1 Sv$.

Los efectos biológicos de la radiación sobre el organismo humano se pueden dividir en dos tipos: los efectos estocásticos y los efectos determinísticos.

- **Los efectos estocásticos** son aquellos producidos por daño en el ADN no reparado de alguna célula viable del organismo. La palabra estocástico quiere decir que en ellos está presente la probabilidad, es decir que al aumentar la dosis recibida aumenta la probabilidad de padecerlos. Entre ellos se encuentra el cáncer o las anomalías hereditarias.
- **Los efectos determinísticos** están causados por el daño agudo causado sobre un gran número de células del organismo, que las llevan a morir. La intensidad del daño está directamente relacionada y de forma predecible con la dosis de radiación absorbida⁴.

64.5. Concepto de protección radiológica.

A raíz del descubrimiento de la radiactividad y los rayos X a finales del siglo XIX se pusieron de manifiesto los daños producidos por las radiaciones ionizantes. Desde entonces la identificación de muchos usos beneficiosos e importantes de las radiaciones ionizantes y el desarrollo de nuevos procesos tecnológicos que las generan, fue paralelo al mayor conocimiento del daño producido, poniendo de manifiesto la necesidad de establecer medidas protectoras para asegurar un nivel adecuado de protección al ser humano, y que constituye el origen de la disciplina denominada Protección Radiológica.

La estrategia para la protección radiológica viene determinada por el hecho de que las radiolesiones directas tienen umbral y los efectos cancerígenos no lo tienen. Es decir, las radiolesiones se pueden evitar sin más que controlar la dosis de radiación que se recibe de manera que no sobrepase ninguno de los umbrales. En cambio los efectos cancerígenos, al no tener umbral, no se pueden eliminar completamente, pero la probabilidad se puede reducir tanto, que el riesgo sea pequeño y en cualquier caso aceptable en comparación con los riesgos de cualquier otra actividad. En resumen, el objetivo de la radioprotección es evitar los efectos deterministas (radiolesiones, cataratas, etc.) y reducir en lo posible la probabilidad de efectos estocásticos (cancerígenos). Este objetivo se concreta en tres principios⁵:

1. **Justificación** de que las exposiciones producen un beneficio neto frente a los riesgos que conllevan.
2. **Limitación de dosis**, de manera que las exposiciones a los profesionales y al público no sobrepasan valores establecidos, por encima de los cuales se encuentran los umbrales de dosis para radiolesiones locales o el riesgo de inducción de cáncer llegaría a ser inaceptable.
3. **Optimización de la protección** de manera que las dosis se mantengan tan bajas como sea razonablemente posible haciendo que el beneficio neto sea el mayor posible. Optimizar en cardiología no es otra cosa que dar la dosis que se necesita para la intervención, pero no más. Estos tres principios se aplican tanto a los trabajadores como al público. A los pacientes se les aplican también los principios de justificación y optimización, pero no se les aplican límites de dosis, ya que una vez justificada la exposición y optimizada la protección, el riesgo derivado de las dosis de radiación que pueda recibir el paciente, siempre se verá compensado con creces por el beneficio médico. En otras palabras que la imposición de límites de dosis a los pacientes iría en detrimento de los mismos

Podemos decir entonces, que el objetivo principal de la protección radiológica, en base a sus principios es la protección de los individuos, sus descendientes y la humanidad en su conjunto contra los riesgos derivados de las actividades humanas que por las características de los materiales y equipos utilizados, pudieran implicar exposición a radiaciones ionizantes⁶

64.6 Organismos de control.

En base a la multitud de estudios y conocimientos que se han desarrollado al largo de la historia en el campo de la radiación y por consiguiente en el campo de la protección radiológica, es de importancia enumerar cuáles son los organismos competentes en dichos campos. Estos organismos se encargan de velar por nuestra seguridad y medio ambiente

Organismos Internacionales.

- ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica), nació en 1928 a raíz del Congreso Internacional de Radiología y en su función recae:
 - Elaborar reglas de protección radiológica
 - Otras utilidades de las radiaciones (ionizantes y no ionizantes) y sustancias radiactivas.
- UNESCO (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), nació de la inquietud de la Asamblea General de las Naciones Unidas ante los problemas que se planteaban en los años 1950-55, como consecuencia del mayor uso y exposición de radiaciones ionizantes. Creado en 1955 por la Asamblea General, se encarga de:
 - Evaluar los niveles de radiactividad y los riesgos para el hombre
- ICRU (Comisión Internacional de Unidades Radiológicas):
 - Define los conceptos y las unidades necesarias de protección radiológica.
- OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) o sus siglas en inglés IAEA, se forma el 29 de Julio de 1957 como una organización internacional gubernamental autónoma, bajo los auspicios de las Naciones Unidas. Su principal objetivo es “acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en todo el mundo”. A día de hoy cuenta con 144 países miembros que a su vez se encarga de:
 - Establecer protocolos de dosimetría
 - Reglamentar el uso de sustancias radiactivas y generadores de radiación

Organismos nacionales.

- CIEMAT.
En 1951 se crea en España, la Junta de Energía Nuclear (J.E.N.) como Centro Nacional de Investigación dependiente del Ministerio de Industria, siendo el organismo encargado de los problemas de seguridad y protección contra las radiaciones ionizantes. La JEN se transforma en el CIEMAT, organismo de investigación y desarrollo tecnológico dirigido, a la formación de personal científico y técnico. Es la actual sede del laboratorio nacional de metrología de radiaciones ionizantes.
- CSN (Consejo de Seguridad Nuclear)
En 1979, debido al desarrollo de la aplicación de la energía nuclear y la complejidad de su control, se consideró oportuno separar las funciones de promoción y control y se creó el CSN Ley 15/1980, como ente público independiente de la Administración del Estado (dependiente solo del Parlamento) con la misión de evaluar y controlar el diseño, construcción y operación de las instalaciones nucleares y radiactivas. Por lo tanto tiene como objeto:
 - Emitir informes preceptivos previos a las autorizaciones de industria.
 - Realizar inspecciones en las instalaciones.
 - Conceder Licencias/Acreditaciones.
 - Proponer sanciones.
 - Asesorar a los tribunales y órganos de Administración.

64.7. Condiciones de la sala.

Aunque en el anterior Tema 1, se han descrito los componentes físicos de una sala de hemodinámica, describiremos de manera técnica qué requisitos y componentes técnicos debería de cumplir⁷.

La función principal de un sistema de cinefluoroscopia de rayos X es producir un haz de rayos X colimado de intensidad y calidad apropiada, proyectar este haz a través del paciente en el ángulo deseado, detectar este haz una vez que ha pasado a través del paciente y traducirlo en una luz visible formando una imagen útil para el diagnóstico y el intervencionismo. Esta imagen podrá ser de dos tipos: fluoroscópica y de adquisición (comúnmente llamada cine). Para ello se necesitan los siguientes componentes:

1. Generador

La función del generador es aportar energía eléctrica al tubo de rayos x que calentará el filamento que éste posee y con ello producirá un haz de electrones. El generador dispondrá de:

- Generador de Rayos X de alta frecuencia controlado por microprocesador.
- Presentación digitalizada de parámetros técnicos, y con indicador de código de errores.
- Sistema de estabilización automática de las fluctuaciones del voltaje de red.
- Potencia mínima 80 Kw.
- Tiempo mínimo de exposición no superior a 1 mseg.
- Programación anatómica y Control de exposición automática.
- Capacidad para trabajar en modo fluoroscopia continua y pulsada digital y en modo radiografía digital.
- Dispositivos de control y seguridad para protección del tubo contra sobrecargas.
- Indicador digital que informe, en tiempo real, de la situación del tubo en cuanto a nivel de carga.
- Control del tiempo de uso fluoroscópico. El control del tiempo de fluoroscopia será mediante sistema de visualización digital en la sala de exploración en módulo incorporado en el soporte de los monitores de TV.
- Funcionamiento con técnicas de reducción de dosis e incluirá indicación de Dosis, incluidos en los datos demográficos del paciente.

2. **Tubo de Rayos X**

El tubo de rayos X es un dispositivo que convierte la energía eléctrica liberada por el generador, en rayos X. Este dispositivo consiste en un recipiente de cristal con vacío en su interior, que contiene un filamento de tungsteno y un ánodo en forma de disco, que rota a más de 10.000 rpm. El filamento se calienta gracias a la electricidad que le llega y emite electrones por un mecanismo llamado emisión termoiónica. Éste proceso genera mucha temperatura y ésta es almacenada en el tubo, por eso es necesario que el tubo esté diseñado de tal manera que disipe el calor. Cuando el indicador de calor nos alerta durante un procedimiento, nos indica pues que el paciente ha recibido una gran cantidad de radiación

El tubo de rayos X deberá disponer de:

- Ánodo giratorio.
- Doble foco, con tamaños no superiores a 0,6 mm. y 1.0mm en foco fino y foco grueso respectivamente.
- Tiempo de aceleración del rotor del ánodo hasta la máxima frecuencia de giro. (en seg.).
- Colimador de Rayos X multiplano con funcionamiento manual y automático.
- Sistema de filtración variable que permite las técnicas de reducción de dosis al paciente y al personal, controlado automáticamente en función de los parámetros técnicos y tamaño del paciente
- Sistema de medida de la dosis mediante cámara de ionización plano/paralela incorporada integralmente en el sistema de colimación que permita la evaluación continua del producto dosis-área. Incorporará sistema de registro. La presentación se realizará digitalmente en tiempo real en el módulo situado en el soporte de techo de los monitores de TV.
- Permitirá la emisión de informes en el que se recojan los datos de información relevantes del estudio (datos de paciente, series radiográficas y parámetros técnicos así como dosis recibida. etc.)

3. **Sistema Digital de Adquisición Directa de Imágenes**

Para la visualización fluoroscópica en tiempo real, los equipos de radiodiagnóstico incorporan receptores de imagen digital, en los cuales la señal eléctrica que sale del intensificador es procesada como una señal digital. De esta manera la imagen puede ser observada en los monitores e incorporada en los ordenadores del equipo.

El Sistema Digital de Imagen deberá disponer de:

- Sistema Digital tipo Flat Panel para la adquisición Digital Directa de Imágenes (DR).
- Detector de Silicio Amorfo y Material centelleador de Yoduro de Cesio.
- El tamaño del Flat Panel será como mínimo de 30x30cm. mínimo.

- Conexión de Alta velocidad con el sistema de tratamiento de imágenes.
- El tamaño del píxel será menor de 200 micras.
- Relación de contraste.
- Eficiencia de detección cuántica (DQE) (en %).
- Sistema anticolisión.
- La tasa de dosis máxima en la entrada del Flat Panel, sin rejilla y 25 cm de lado deberá ser inferior a 0,80 $\mu\text{Gy}/\text{seg}$.

4. Monitores de Tv (imagen 64.7.4)

Los monitores de Tv nos permiten visualizar la imagen en tiempo real, así como los datos hemodinámicos del paciente. Los monitores deberían de contar con:

- Un mínimo de 4 monitores planos para imagen (3 en sala de exploración y 1 en puesto de control). La calidad deberá ser médica, de alta resolución y modo de rastreo progresivo.
- Alta frecuencia, alta luminosidad (mínimo 500 cd.) y libre de parpadeo.
- Pantalla antirreflejos y capacidad de adaptación automática a la iluminación de la sala (brillo y contraste).
- La resolución mínima del sistema de imagen, sobre el monitor de TV, en alto contraste (aprox, 50 Kvp) será superior a 1.0 pl/mm para campo máximo y 1.4 pl/mm para campo mínimo.
- La resolución mínima del sistema de imagen, sobre el monitor de TV, en bajo contraste (aprox. 80Kvp) será mejor que el 3% para campo máximo.



Imagen 64.1 Monitores.

5. El dispositivo de arco (imagen 64.7.5)

El arco de escopía permite realizar diferentes tipos de proyecciones y deberá tener las características siguientes:

- Será de giro isocéntrico.
- Con capacidad para realizar angulaciones cráneo-caudales de cada arco no inferiores a $\pm 40^\circ$ y laterales/oblicuas no inferiores a $+90$ grados, sin movimiento de mesa y paciente.
- Dispondrá de capacidad para rotación y desplazamiento lineal de forma manual y motorizada. Especificar características y rango de los desplazamientos.
- La velocidad mínima de rotación del arco será de $10^\circ/\text{seg}$.
- El movimiento del Sistema de adquisición podrá ser accionado de modo manual y motorizado.
- Con sistema anticolisión.
- Capacidad de programación automática de proyecciones seleccionadas por el usuario.



Imagen 64.2 Dispositivo de arco.

6. Mesa de Exploración (imagen 64.7.6)

La mesa de exploración debería de contar con los siguientes componentes:

- Tablero de fibra de carbono.
- Tablero flotante con capacidad para desplazamiento longitudinal y transversal de modo automático y/o manual.
- Desplazamiento en altura y movimiento de rotación motorizado.
- Capacidad para soportar un peso máximo de paciente, con total seguridad, superior a 200 Kg.
- Dispondrá integrado en la base de la mesa, de dispositivo de conexión para la transmisión de los parámetros fisiológicos, (salida de señal de presión y ecg).
- El conjunto arco-mesa debe permitir un fácil acceso al paciente en caso de emergencia.
- Disponibilidad de masaje cardiaco en cualquier punto del tablero, aunque se aconseja la posición central.
- Disponer de sistema de soporte, en ambos lados de la mesa, para alojamiento del mando de control de las funciones del sistema (mesa, arco, etc.).
- Sencillez de manejo.



Imagen 64.3 Mesa de Exploración.

7. Sistema de registro digital de imágenes radiológicas

Se trata de un sistema adecuado para la realización de técnicas hemodinámicas e intervencionistas mediante el tratamiento en tiempo real. Este sistema deberá disponer de una consola de trabajo que debe contar con:

- Teclado, pantalla y/o funciones de ratón que permita el control del funcionamiento y administración del sistema y las funciones de adquisición y procesado de las imágenes digitales.
- Al menos dos monitores en la sala de control: uno para gestión de datos y otro para visualización de imágenes. El monitor de imagen, deberá cumplir las características técnicas señaladas en el apartado monitores.

- Fluoroscopia de alta resolución digital pulsada y continua:
 - Permitirá congelación de la última imagen (LIH), roadmapping,.....
 - En modo pulsado especificar las diferentes posibilidades de selección de pulsos (pulsos/seg), mínimo hasta 25 pulsos/seg, y anchura del pulso (en mseg).
- Radiografía digital con frecuencia de adquisición variable hasta un mínimo de 6 imágenes/seg a 50 Hz con matriz de 1024.
- Capacidad para adquirir imágenes radiográficas sincronizadas con ECG.
- Convertidor analógico digital de alta frecuencia. (frecuencia de muestreo en Mhz, tasa de transferencia de datos a la memoria (en MB/seg), Míps, etc....).
- Sistema de adquisición, proceso, presentación y archivo con matriz de 1024 x 1024. La profundidad mínima será 10 bits/píxel. Se valorarán valores superiores (12 bits).
- Capacidad de almacenamiento de imágenes en disco duro, mínimo de 3000 imágenes en 1024x 1024 x 12 bits.
- Archivo digital permanente de imágenes con capacidad de al menos 4GB. Con las siguientes características.
 - Tipo: disco DVD
 - Grabación en Formato DICOM
 - Capacidad almacenamiento y compresión (en MB y nº imágenes)

Hoy en día en nuestras sales de hemodinámica se aplica el estándar DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine). El estándar DICOM define el formato físico y lógico para intercambiar datos (imágenes y datos de pacientes) entre los distintos equipos, independientemente de sus fabricantes⁸.

64.8. Normas generales de protección radiológica en la sala.

- Se debe tener en cuenta que la radiología intervencionista es potencialmente una de las mayores fuentes de exposición en radiología, puesto que se requiere la presencia de un considerable número de personas próximas al paciente, se usan tiempos largos de fluoroscopia y se realizan muchas adquisiciones radiográficas.
- Todo el personal debe hacer uso de todos los dispositivos de protección incluidos en la sala tales como cortinillas plomadas, mamparas suspendidas del techo, mamparas de pie, etc.
- Todos los trabajadores que trabajen habitualmente en las proximidades del paciente durante la emisión de los rayos X, son de categoría A, y tienen asignado un dosímetro personal de solapa y otro de muñeca, que deberán usar siempre en horario de trabajo, bajo su responsabilidad. Es obligatorio, para estos profesionales, utilizar delantal plomado y protector de tiroides.
- Las personas situadas a menos de un metro del paciente utilizarán delantal plomado equivalente a 0'35 mm Pb y se protegerán el cristalino colocándose tras la mampara plomada colgante o utilizando viseras o gafas plomadas. El resto de trabajadores utilizarán, al menos, delantal plomado equivalente a 0'25 mm Pb.
- Los dosímetros personales se llevarán bajo el delantal plomado y bajo los guantes plomados respectivamente.
- Antes de empezar la exploración, la habitación debe de estar oscurecida y los ojos adaptados de forma que se minimice la intensidad de rayos X necesaria.
- Durante la fluoroscopia se debe evitar la palpación con la mano o manipular bajo el haz directo o próximo al mismo.
- Todos los exámenes fluoroscópicos deben realizarse minimizando en lo posible el tiempo de examen, el tamaño del campo y la tasa de dosis.
- El facultativo responsable debe asegurarse en cada exploración que el personal que está en la sala se encuentre debidamente protegido y ubicado correctamente, así como de la visibilidad del monitor.
- La escopia debe utilizarse de forma discontinua durante la intervención, procurando no

manipular mientras esté funcionando.

- Se prestará especial atención al tiempo de exposición, y si fuera posible se fijará con la señal acústica un tiempo inferior de 5 minutos.
- Si es posible, se mantendrá una distancia al equipo de 2 m que asegura un nivel de riesgo equiparable a la radiación de fondo.
- Con intensificadores de imagen, la intensidad (mA) debe ser la mínima compatible (< 2'5 mA) con el KVP mínimo necesario para la calidad diagnóstica deseada. La tasa de dosis a la entrada del intensificador debe de ser inferior a 5 cGy/min.
- Se utilizará la escopia pulsada, siempre que sea posible, y se deberá reducir al mínimo necesario el uso de las lupas, si las hubiera en el equipo.
- La mesa sobre la que se encuentra el paciente deberá estar lo más lejos posible del tubo de rayos X y lo más próxima posible al intensificador de imagen.
- Todo el personal que no requiera estar inmediatamente adyacente al paciente debe permanecer durante el procedimiento tan lejos de éste como sea posible, salir de la sala si no tiene obligaciones dentro de ella y colocarse tras una barrera estructural.
- El paciente es la mayor fuente de radiación dispersa, por tanto, en las proyecciones verticales, el tubo estará siempre bajo la mesa. Cuando se utilicen proyecciones laterales u oblicuas, el personal procurará situarse al lado del receptor de imagen (panel plano o intensificador de imagen), al objeto de minimizar la dosis de radiación recibida.
- Se debe colimar el campo de irradiación al mínimo compatible con las necesidades del diagnóstico o la terapia.
- Siempre que sea posible deberá utilizarse la escopia de baja dosis y reducir al mínimo necesario el uso de las lupas.
- El número de disparos radiográficos y el tiempo de escopia deberán ser lo menores posible, siempre compatible con la exploración o procedimiento a realizar⁹.

64.9. Referencias Bibliográficas.

1. Biografía de Wilhelm C.Röntgen, Nobel Foundation, <http://bit.ly/MNWy4D>
2. Biografía de Max von Laue, Nobel Foundation, <http://bit.ly/Mn1HTN>
3. Consejo de Seguridad Nuclear http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=129&Itemid=134&lang=es
4. <http://www.eez.csic.es/files/ManualDeRadioProteccion.pdf>
5. ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1–3).
6. CSN Consejo de Seguridad Nuclear, Protección radiológica. Madrid (1992)
7. Protocolo español de control de calidad en radiodiagnóstico Ed.2011 <http://www.sergas.es/Docs/ProtocoloPECCRD2011.pdf>
8. <http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/presentaciones-foro2008/esalud/martes/DICOM.pdf>
9. Directiva 96/92 Euratom por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes http://www.sepre.es/html/recursos/normativa/Directiva_96_29.pdf

TEMA 65. PROTECCIÓN DEL PERSONAL Y DEL PACIENTE.

*Joan Costa Mateu, María José Ruiz Montilla, Dolors Bergua Canelles.
Unidad de Hemodinámica. Hospital Universitari Arnau de Vilanova. Lleida.*

65.1. Introducción a la salud laboral.

La ley de Prevención de Riesgos Laborales en su artículo 22 se refiere a la vigilancia de la salud de los trabajadores, obligando al empresario a garantizar a los trabajadores la vigilancia de la salud en función de los riesgos inherentes a su trabajo. Estos reconocimientos se realizarán para evaluar los efectos de las condiciones de trabajo o para verificar si el estado de salud del trabajador puede constituir un peligro para el mismo, para los demás trabajadores o para otras personas relacionadas con la empresa, o cuando lo recomiende la normativa por ser actividades de especial riesgo como es el caso de las Radiaciones Ionizantes¹. En concordancia con la legislación anterior, en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones ionizantes² se establece que la vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos se basará en los principios generales de Medicina del Trabajo y en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre sobre Prevención de Riesgos Laborales y Reglamentos que la desarrollan.

El Real Decreto 39/1997 Reglamento de los Servicios de Prevención³, en su artículo 37.

Establece las condiciones en las que se debe realizar la vigilancia de la salud de los trabajadores:

Los Exámenes de Salud serán realizados por personal sanitario acreditado de un Servicio de Prevención (propio o ajeno). Además la Vigilancia de la salud estará sometida a protocolos específicos u otros medios existentes con respecto a los factores de riesgo a los que esté expuesto el trabajador. Los contenidos de los protocolos y la periodicidad de los mismos serán establecidos por el Ministerio de Sanidad y Consumo y las Comunidades Autónomas.

La actual normativa en prevención de riesgos laborales pretende crear una cultura de prevención y de colaboración en todos los ámbitos sociales, por ello, cuando se trate de trabajadores externos, el personal sanitario del Servicio de Prevención de la Instalación Nuclear y/o Radiactiva, podrá comprobar, en el momento del acceso a la Instalación, que se mantiene la aptitud del trabajador para el trabajo a desempeñar (Real Decreto 39/1997, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención; Real Decreto 783/2001⁴, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes; y Real Decreto 413/1997, sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgos de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada).

Los trabajadores adscritos a las diferentes unidades y por tanto a la instalación radiactiva, conforme al Real Decreto 1085/2009 y Real Decreto 1976/1999 sobre instalaciones de rayos X de diagnóstico médico, consta de⁵:

Médico Especialista.

Es el responsable del cumplimiento de las normas legales que afectan a la instalación, en especial del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes así como del presente Programa de Protección Radiológica. Debe estar en posesión de la acreditación personal para dirigir el funcionamiento de instalación de rayos X de diagnóstico médico, emitida por el (CSN) Consejo de Seguridad Nuclear.

Al mismo tiempo, le corresponden las siguientes funciones:

- Responsable del funcionamiento correcto de la instalación.
- Dirección y operación de la instalación.
- Supervisión del personal de operación de los equipos.
- Supervisión del cumplimiento del programa de protección radiológica.
- Participar en programas de Garantía de Calidad.

Enfermero/a.

Es el responsable de la operación de los equipos de rayos X bajo la dirección de los titulados responsables del funcionamiento de la Instalación.

Debe estar en posesión de la acreditación personal para operar en equipos de rayos X de diagnóstico médico emitida por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Además, tendrá las siguientes responsabilidades:

- Colocación correcta del enfermo según la proyección solicitada.
- Elección de la técnica más adecuada compatible con el diagnóstico y que suponga una menor dosis de radiación al paciente.
- Verificar los parámetros técnicos y control de calidad del equipo, así como todo lo relacionado con el procesado de la película.
- Verificar la señalización de funcionamiento del equipo.
- Utilizar los dispositivos que impidan el acceso a la sala durante el funcionamiento.
- Comunicar a los responsables de la instalación cualquier anomalía en el equipo.
- Participar en los programas de garantía de calidad de los equipos.
- Cumplir con lo establecido en el programa de protección radiológica.

Otros trabajadores.

Cuyas funciones son las de traslado de enfermos, citaciones, archivo, etc., y personal sanitario cuyas funciones no suponen la operación de los equipos de rayos X. Deben poseer información general en materia de protección radiológica relativa a la instalación.

65.2. Clasificación radiológica del personal según nivel de exposición.

De acuerdo con el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (RD 783/2001)⁶², las personas que trabajan en las instalaciones con riesgo radiológico se clasifican, en función de las condiciones en que realizan su trabajo, en:

- Trabajadores expuestos.
- Miembros del público.

Trabajadores expuestos:

Son personas que, por las circunstancias en que se desarrolla su trabajo, bien sea de modo habitual, bien de modo ocasional, están sometidas a un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes susceptible de entrañar dosis superiores a alguno de los límites de

Dosis para miembros del público.

Los estudiantes y personas en formación, mayores de dieciocho años, que durante sus estudios, se encuentren expuestos a radiaciones ionizantes, se consideran incluidos en esta categoría. Los estudiantes y personas en formación entre 16 y 18 años sólo pueden

Ocupar puestos de categoría B.

Los estudiantes y personas en formación menores de 16 años no podrán realizar tareas que los conviertan en trabajador expuesto.

Los trabajadores expuestos se clasifican en dos categorías:

Categoría A.

Pertencen a esta categoría los que puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial, o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades. En el caso de las instalaciones de radiodiagnóstico, pertenecen a esta categoría los profesionales que realicen su actividad directamente (sin blindaje estructural), en procesos de: Radiología Intervencionista, Hemodinámica y Uro dinámica

La condición de trabajador expuesto de categoría A exige obligatoriamente:

- Superar el reconocimiento médico de ingreso y los reconocimientos periódicos.
- Haber recibido formación en protección radiológica.

- Utilizar obligatoriamente dosímetro individual que mida la dosis externa, representativa de la totalidad del organismo siempre que realicen trabajos que supongan riesgos de exposición externa (dosímetro de solapa).
- Utilizar dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas, en el caso de riesgo de exposición parcial o no homogénea del organismo (dosímetro de muñeca).

Categoría B.

Pertenecen a esta categoría aquellos que es muy improbable reciban dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial, o a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades. La mayoría de las personas que trabajan en instalaciones radiológicas pertenecen a esta categoría. La condición de trabajador expuesto de categoría B exige obligatoriamente:

- Superar el reconocimiento médico establecido.
- Haber recibido formación en protección radiológica.
- Estar sometido a un sistema de vigilancia dosimétrica que garantice que las dosis recibidas son compatibles con su clasificación en categoría B. Esta vigilancia dosimétrica, puede ser individual o de puesto de trabajo.

A cada trabajador expuesto le será abierto:

- Un protocolo médico individual, conteniendo los resultados del examen de salud previo a su incorporación a la instalación y los exámenes médicos periódicos y ocasionales.
- Un historial dosimétrico individual que, en el caso de trabajadores con dosimetría individual, debe contener como mínimo las dosis mensuales, las dosis acumuladas en cada año oficial y las dosis acumuladas durante cada período de 5 años oficiales consecutivos, y en el caso de trabajadores de categoría B que no tengan vigilancia dosimétrica individual, las dosis anuales determinadas, o estimadas, a partir de los datos de la vigilancia radiológica de zonas.

Miembros del público.

Se consideran miembros del público:

- Los trabajadores no expuestos.
- Los trabajadores expuestos, fuera de su horario de trabajo.
- Los usuarios de las instituciones sanitarias mientras no estén siendo atendidos como pacientes con fines diagnósticos o terapéuticos.
- Cualquier otro individuo de la población.

Como orientación general, no se considerarán trabajadores expuestos a los que se cita a Continuación:

- Radiodiagnóstico: Administrativos, celadores y limpiadoras.
- Radioterapia e instalaciones con fuentes no encapsuladas: Administrativos.

65.3. Límites de dosis según clasificación radiológica de los trabajadores.

Los límites de dosis son valores que no deben ser sobrepasados, y se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa durante el período considerado, y de las dosis comprometidas a 50 años (hasta 70 años en el caso de niños) a causa de incorporaciones de radionúclidos, durante el mismo período.

En el cómputo de las dosis totales, a efectos de comparación con los límites aplicables, no se incluirán las dosis debidas al fondo radiactivo natural, ni las derivadas de exámenes o tratamientos médicos que eventualmente puedan recibirse como pacientes.

Los límites de dosis para los trabajadores expuestos son los siguientes⁷:

- El límite de dosis efectiva será de 100 mSv durante todo período de cinco años oficiales consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.
- Sin perjuicio de lo indicado en el apartado anterior:
 - El límite de dosis equivalente para el cristalino es de 150 mSv por año oficial.
 - El límite de dosis equivalente para la piel es de 500 mSv por año oficial. Dicho límite se aplica a la dosis promediada sobre cualquier superficie de un centímetro cuadrado, con independencia de la zona expuesta.

- El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos es de 500 mSv por año oficial.

Tan pronto como una mujer embarazada informe de su estado, por escrito, al titular o al (Sociedad Española de Protección Radiológica) SEPR, la protección del feto debe ser comparable a la de los miembros del público y, por ello, las condiciones de trabajo deberán ser tales que las dosis al feto desde la notificación del embarazo al final de la gestación no excedan de 1 mSv.

Los límites de dosis para personas en formación y estudiantes que deban manejar fuentes de radiación por razón de sus estudios serán los siguientes:

- Para estudiantes mayores de dieciocho años: Los límites son los mismos que para los trabajadores expuestos.
- Para estudiantes entre dieciséis y dieciocho años:
 - El límite de dosis efectiva es de 6 mSv por año oficial.
 - Los límites de dosis equivalente para cristalino, piel, manos, antebrazos y pies son tres décimos de los límites establecidos para trabajadores expuestos.
 - Para estudiantes menores de dieciséis años los límites son los mismos que para los miembros del público.

Los límites de dosis para los miembros del público son los siguientes:

- El límite de dosis efectiva será de 1 mSv por año oficial.
 - Sin perjuicio de lo indicado en el apartado anterior:
 - El límite de dosis equivalente para el cristalino es de 15 mSv por año oficial.
 - El límite de dosis equivalente para la piel es de 50 mSv por año oficial. Dicho límite se aplica a la dosis promediada sobre cualquier superficie de un centímetro cuadrado, con independencia de la zona expuesta.
 - El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos es de 50 mSv por año oficial.

65.4. Clasificación y delimitación de zonas.

1. Zona Controlada.



Imagen 65.1 Señal indicativa de zona controlada.

Es aquella en la que es posible recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, la piel y las extremidades establecidos para los trabajadores expuestos. Las zona controladas pueden subdividirse en:

2. Zona de permanencia limitada.



Imagen 65.2 Señal indicativa de zona de permanencia limitada.

Es aquella en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites fijados para los trabajadores expuestos.

3. Zona de permanencia reglamentada.



Imagen 65.3 Señal indicativa de zona de permanencia reglamentada.

Aquella en la que existe el riesgo de recibir en cortos períodos de tiempo una dosis superior los límites fijados para los trabajadores expuestos y que requieren prescripciones especiales desde el punto de vista de la optimización.

4. Zona de acceso prohibido.



Imagen 65.4 Señal indicativa de zona de acceso prohibida.

Aquella en la que existe el riesgo de recibir, en una única exposición, dosis superiores a los límites establecidos para los trabajadores expuestos.

5. Zona Vigilada.



Imagen 65.5 Señal indicativa de zona vigilada.

Aquella en la que, no siendo zona controlada, existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades establecidos

para los trabajadores expuestos. En ella debe realizarse, al menos, dosimetría de área para estimar las dosis que pueden recibirse.

65.5. Dosimetría personal.

La dosimetría personal tiene como finalidad determinar las dosis recibidas por el organismo, utilizándose para ello dosímetros personales que acompañan al trabajador y quedan expuestos a la radiación en las mismas condiciones. Los dosímetros personales utilizados en estas instalaciones son dosímetros de termo luminiscencia que se remiten mensualmente al Centro Nacional de Dosimetría (CND) para su lectura.

Para una mayor comprensión de las lecturas de nuestro dosímetro, que nos son entregadas periódicamente, haremos un breve resumen de las magnitudes dosimétricas presentes en nuestro lugar de trabajo.

Para la evaluación de la dosis de exposición a la radiación se han desarrollado magnitudes dosimétricas especiales. Las magnitudes de protección fundamentales adoptadas por la ICRP (Comisión

Internacional de Protección Radiológica) están basadas en la medición de la energía depositada en órganos y tejidos del cuerpo humano. Para relacionar la dosis de radiación al riesgo de la misma (el detrimento), también es necesario tener en cuenta tanto las variaciones en la eficacia biológica de las radiaciones de diferente calidad, así como la diferencia en la sensibilidad de órganos y tejidos a la radiación ionizante. En la publicación 26 (ICRP, 1977) fueron introducidas como magnitudes de protección el equivalente de dosis, para órganos y tejidos del cuerpo humano, y el equivalente de dosis efectiva.

La definición y el método de cálculo de estas magnitudes fueron modificados en la Publicación 60 (ICRP, 1991b) para dar las magnitudes dosis equivalente y dosis efectiva, y estas se definen como:

- La *dosis equivalente* es una magnitud física que describe el efecto relativo de los distintos tipos de radiaciones ionizantes sobre los tejidos vivos. Su unidad de medida es el sievert. La dosis equivalente es un valor con mayor significado biológico que la dosis absorbida.
- La *dosis efectiva* (E) es una magnitud definida por la sumatoria de las dosis equivalentes en tejido, multiplicada cada una por el factor de ponderación para tejido correspondiente.

El desarrollo de las magnitudes dosis equivalente y dosis efectiva ha contribuido significativamente a la protección radiológica ya que ha permitido sumar las dosis de la exposición total o parcial del cuerpo a la radiación externa de varios tipos y las de las incorporaciones de radionucleidos.

La dosis equivalente y la dosis efectiva no pueden ser medidas directamente en los tejidos del cuerpo. Por consiguiente el sistema de protección incluye magnitudes operacionales que pueden medirse, a partir de las que pueden evaluarse la dosis equivalente y la dosis efectiva. La aceptación general de la dosis efectiva y la demostración de su utilidad en la protección radiológica son razones importantes para conservarla como la magnitud central en la evaluación de dosis en protección radiológica.

65.6. Características de los dosímetros de solapa.

Dentro de las características técnicas de los dosímetros de solapa distinguiremos dos aspectos: los componentes que constituyen el dosímetro y el algoritmo que permite estimar las dosis de lectura.

1. Componentes de los dosímetros.

El dosímetro de solapa está diseñado para la medida de las dosis equivalentes personales profunda Hp (10) y superficial Hp (0,07), así como para la discriminación de la energía de la radiación incidente. Incorpora una lámina de aluminio anodizado con cuatro detectores termoluminiscentes de LiF, Mg, Ti, en forma de pastillas de 4,5 mm de diámetro y 0,6 mm de grosor. Cada lámina está identificada mediante un número de 8 dígitos grabado en forma de código de barras y de número legible.

Los filtros utilizados, todos ellos de 11,8 mm de diámetro, son los siguientes: (imagen 1 y 2)

- Filtro 1: 3,9 mm de plástico PTFE (politetrafluoroetileno).
- Filtro2: 3 mm de cobre, más 0,5 mm de plástico PTFE a cada lado.
- Filtro 3: Ventana abierta, sin filtración.

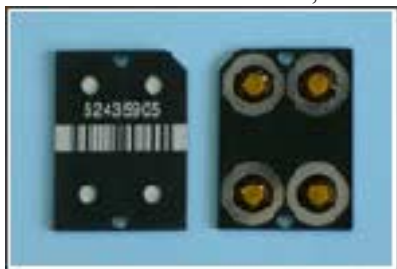


Imagen 65.6 Interior dosímetro.

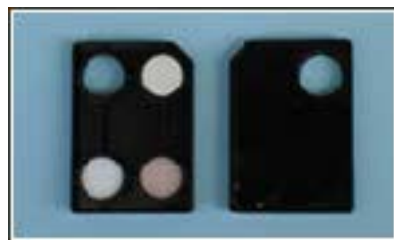


Imagen 65.7 Filtros interiores.

El conjunto de las tres láminas está encerrado herméticamente en una bolsa de melinex aluminizado que protege a los detectores de la luz y de contaminantes. Sobre la bolsa se imprime la identificación del usuario y el mes de uso para el que está destinado el dosímetro. (Imagen 65.6.1.3)



Imagen 65.8 Dosímetro de solapa.

Dicha envoltura se sustituye cada vez, siendo asignados dosímetros diferentes a cada persona cada mes. La envoltura no se debe romper bajo ningún concepto, dado que el dosímetro quedaría inutilizado. Si por accidente fortuito se rompiera la envoltura, se debería enviar inmediatamente, dentro de un sobre, las distintas partes del dosímetro y entregarlas a su supervisor/a para que las hiciera llegar a la unidad de prevención de riesgos laborales, servicio de medicina nuclear o responsable de cada centro destinado a este fin.

2. Componentes de los dosímetros de muñeca.

El dosímetro de muñeca está diseñado para la medida de la dosis equivalente personal superficial $H_p(0,07)$, no permitiendo la discriminación de la energía de la radiación.



Imagen 65.9 Dosímetro de muñeca.

Incorpora únicamente una lámina con detectores como la descrita en el caso del dosímetro de solapa. No incorpora ninguna lámina con filtros por lo que no se puede utilizar el algoritmo para estimación de la energía media de la radiación incidente. Dicha lámina se introduce en una bolsa de polivinilo de color negro, para proteger los detectores de la luz. Sobre la bolsa se adhiere una etiqueta con la identificación del usuario y el mes de uso para el que está destinado el dosímetro. El conjunto se introduce en una muñequera de plástico, dotada de una cinta de velcro y herméticamente sellada para evitar contaminantes⁸.

65.7. Dosimetría de área.

Los dosímetros de área están reservados, a solicitud del Servicio o Unidad de Protección Radiológica correspondiente, para la estimación de las dosis en lugares o zonas donde pudieran acceder o permanecer trabajadores expuestos de categoría B durante las exposiciones a radiaciones ionizantes. Para control del dosímetro en uso, sobre el mismo aparece impreso la palabra “Área”, el número de orden del dosímetro, el mes de uso para el que está destinado el dosímetro, el número de historia y un número de control interno del CND.

El uso del dosímetro está restringido al centro al que está asignado y para la finalidad indicada anteriormente, bajo la supervisión del Servicio o Unidad de Protección Radiológica correspondiente. No se deben utilizar en zonas en las que no puedan permanecer trabajadores expuestos de categoría B, como, por ejemplo, para la medida de exposiciones delante de las barreras de protección, en el interior de los búnkeres de aceleradores, etc. Para dicho tipo de medidas se deben usar dosímetros de investigación. El CND informa mensualmente al Consejo de Seguridad Nuclear, de las incidencias ocurridas en las lecturas de dosímetros de área. Cada historia dosimétrica de área tiene asignados dos dosímetros que se

deben utilizar en meses alternos, de modo que se envía para su lectura uno de ellos mientras se hace uso del otro. Al tratarse de dosímetros no personales no se acumulan las dosis a lo largo del año, ya que no aplican los límites de dosis individuales⁹.

65.8. Normas de protección para los trabajadores expuestos y los miembros del público.

Según las normas de la ICRP las medidas para reducir la exposición de fuentes de radiación deben cumplir dos criterios.

- *Justificación*: el efecto potencial de la intervención propuesta debe minimizar cualquier efecto dañino posible y costo económico
- *Optimización*: la intervención propuesta debe ser optimizada en términos de forma, escala y duración

Siguiendo éstas directrices, deben usarse los 3 métodos: *distancia*, *blindaje* y *tiempo*. Respetando estos métodos la radiación se puede mantener en un mínimo las limitaciones de la radiación.

1. Las puertas de acceso a la sala permanecerán cerradas durante el tiempo que dure la exploración.

2. En todas las instalaciones de radiodiagnóstico se dispondrá de las prendas plomadas para proteger tanto al paciente como al trabajador expuesto (protectores de tiroides, delantales plomados, etc.).

- Se debe colimar el haz para que el tamaño del campo irradiado sea el mínimo compatible con las necesidades diagnósticas. El haz directo sólo debe irradiar al paciente.
- Se debe comprobar el buen funcionamiento de los colimadores de los equipos.
- No dirigir el haz directo hacia el puesto de control, ventanas o puertas.
- Durante la exposición, el trabajador debe colocarse detrás de la mampara del puesto de control y no entrar en la sala.
- Cuando los equipos estén fuera de funcionamiento, deberán permanecer en condiciones de seguridad, de modo que no puedan ser puestos en marcha ni manipulados por personal ajeno a la instalación.
- Todo el trabajador de categoría A debe llevar dosímetro personal, y los de categoría B que tengan asignados dosímetro personal.
- La utilización de los dosímetros se hará conforme a las normas específicas.
- Una vez que los equipos estén encendidos con posibilidad de realizar disparos, la instalación no debe quedar nunca sin personal.
- La sujeción de pacientes se realizará siempre que sea posible por medios mecánicos. Si no se dispone de los mismos la realizará personal voluntario a quien se informará sobre su ubicación, siempre fuera del haz directo y se le proporcionará el pertinente delantal plomado¹⁰.

65.9. Medidas de protección para los pacientes.

Para obtener la imagen radiológica, algunos fotones de rayos X interactúan con los tejidos y son absorbidos o dispersados mientras que otros atraviesan completamente al paciente. La imagen se produce gracias a que el haz de rayos X interactúa de manera diferente según cada tipo de tejido. El haz entrante al paciente es de una intensidad del orden de 100 veces mayor que el haz saliente por lo que la imagen se crea con el 1% remanente del haz de Rayos X. Por lo tanto, los tejidos a la entrada del haz (generalmente el dorso del paciente) reciben una dosis más alta, con un mayor riesgo de daño. Las proyecciones con ángulos muy oblicuos hacen aumentar la dosis a la piel, elevando el riesgo para la misma (el haz de rayos X debe atravesar mayor espesor de tejido). La fluoroscopia pulsada irradia menos que la continua y la filmación irradia del orden de 10 veces más, en promedio, que la radioscopia.

La utilización de rejillas anti difusoras en los equipos mejora el contraste y por tanto la calidad de las imágenes aunque aumentan la dosis de radiación a los pacientes.

Además, debemos recordar que los equipos modernos tipo “panel digital plano” tienen la capacidad de irradiar menos a los pacientes que los equipos con “intensificador de imagen” pero sólo si se usan en forma adecuada, es decir cumpliendo con el resto de las recomendaciones. De estos enunciados podemos sacar las siguientes recomendaciones para proteger al paciente:

- Trabajar con la mesa en la posición lo más alta posible para aumentar la distancia entre el paciente y la fuente de Rayos X (en los casos en los que no sea imprescindible situar el corazón en el isocentro. Se define como isocentro al punto sobre el que giran los arcos en C. En cualquier angulación del arco, el haz de rayos X “pasa por el isocentro”. Si se modifica la altura de la mesa y el corazón no se sitúa en el isocentro, al cambiar la angulación del haz de rayos X, se debe mover la mesa (panning) para seguir viendo las arterias que se estaban visualizando con la angulación previa. Se estará entonces obligado en ese caso a hacer un poco de panning con lo que se pierde tiempo y se debe usar más fluoroscopia.
- Evitar al máximo las proyecciones oblicuas o axiales extremas porque aumentan considerablemente la dosis en piel.
- No trabajar en una sola proyección. Cuanto más rotemos el arco, la zona de piel sobre la que incide el haz de Rayos X es más amplia y se acumula menos la radiación en una zona de la piel. Esta consideración es tanto más importante cuanto más se prolongue la intervención y más radiación haya que utilizar. Esta medida es más efectiva si al mismo tiempo se colima el haz tanto como lo permita la zona a visualizar, como se explica en el punto siguiente.
- Usar siempre la colimación ya que cuanto menor es la zona de incidencia menor es el volumen de tejido irradiado y la probabilidad de efecto estocástico es menor. La colimación evitará además el solape de irradiaciones en la piel en proyecciones con angulaciones próximas. Se recomiendan los equipos con “colimación virtual” que son los que permiten su aplicación así como la de los filtros, sin necesidad de activar la fluoroscopia.
- En niños y en mujeres embarazadas que son sometidos a procedimientos invasivos, se deben extremar los criterios de protección¹¹.

65.10. Referencias Bibliográficas.

1. B.O.E. nº 269, Viernes 10 de noviembre de 1995, pág. 32590 – 32611
2. <http://www.boe.es/boe/dias/2001/07/26/pdfs/A27284-27393.pdf>
3. <http://www.boe.es/boe/dias/2010/03/23/pdfs/BOE-A-2010-4765.pdf>
4. <http://www.boe.es/boe/dias/2001/07/26/pdfs/A27284-27393.pdf>
5. <http://www.boe.es/boe/dias/2009/07/18/pdfs/BOE-A-2009-11932.pdf>
6. <http://www.sepr.es/html/recursos/descargables/Manual%20PR%20medio%20hospitalario.pdf>
8. <http://www.cnd.es/cnd/dosimper2.php?mlb=no&md=si>
9. <http://www.cnd.es/cnd/dosimper34.php?mlb=no&md=si>
10. <http://www.sepr.es/html/recursos/descargables/Manual%20PR%20medio%20hospitalario.pdf>
11. http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf